

# Sperimentazione di materiali compositi con fibre vegetali per il settore costruttivo

RICERCA E  
SPERIMENTAZIONE/  
RESEARCH AND  
EXPERIMENTATION

Ricerca avanzata (Under 35)

Giulia Savoia,

Dipartimento di Architettura e Territorio, Università Mediterranea di Reggio Calabria, Italia

[giulia.savoia@unirc.it](mailto:giulia.savoia@unirc.it)

**Abstract.** Il documento descrive il lavoro condotto nell'ambito del dottorato di ricerca in Ingegneria Civile dell'Università Mediterranea di Reggio Calabria, che si è concluso con la discussione della tesi dal titolo "Sperimentazione di lamine in materiale composito rinforzato con fibre vegetali per il settore costruttivo". Collocata nell'ambito dello studio dei materiali avanzati in edilizia, e nello specifico dei materiali compositi, la ricerca ha riguardato la progettazione e la caratterizzazione di lamine in NFRP, natural fibre reinforced polymers, mirando ad ottenere un materiale sostenibile dal punto di vista ambientale, economico e sociale, da applicare nel settore delle costruzioni. Particolare oggetto dello studio sono state materie prime bioderivate e relativi processi di produzione.

**Parole chiave:** Biocompositi; Fibre vegetali; Materiali avanzati; NFRP; Sviluppo sostenibile.

## I materiali progettati

La progettazione dei materiali caratterizza ormai da diversi anni molti settori industriali. La capacità sviluppata dall'essere umano di controllare ad una scala sempre più di dettaglio quanto avviene all'interno della materia ha permesso di giungere alla possibilità di ottenere materiali avanzati, specificatamente progettati per un particolare scopo (Ashby, 2005). L'alto livello di controllo raggiunto in questo senso si è inevitabilmente legato alla sensibilità via via crescente dell'industria, della ricerca, ma anche della popolazione, nei confronti delle tematiche ambientali, cercando di coniugare soluzioni a basso impatto ambientale e di alto profilo tecnologico.

I materiali compositi rappresentano un caso emblematico all'interno di quest'ambito, giungendo finanche ad essere considerati come «la prima forma di materia progettata» (Antonini, 2008). Questi permettono l'elaborazione di un mixing specifico, la realizzazione di un componente tramite il processo produttivo più consoni, la concentrazione dei rinforzi nei punti maggiormente sollecitati, ottenendone caratteristiche positive quali alte pre-

stazioni, basso peso, progettazione al minimo strutturale, alta manutenibilità (Russo, 2007). Di conseguenza, il mondo della ricerca ha sempre più partecipato alla diffusione ed allo sviluppo di questi materiali. In merito, si è conclusa recentemente la Cost Action 1207, Next Generation Design Guidelines for Composites in Construction, in cui l'autrice è stata coinvolta come Action Participant, e che ha permesso la creazione di network tematici, divenuti grande fonte di scambio di informazioni ed esperienze. Ulteriore evoluzione dei compositi, recente ma molto indagata, è la loro versione bio, declinata nel caso della ricerca qui presentata come NFRP (Natural Fiber Reinforced Polymers) materiali costituiti da una matrice polimerica bioderivata e/o biodegradabile e da fibre di origine naturale. Nello specifico, la ricerca che si presenta mira all'individuazione di uno o più mescole per la realizzazione di componenti in biocomposito, da utilizzare in ambito edilizio. Lo studio di diverse tipologie di materie prime, l'individuazione di sistemi di produzione efficaci, il forte legame con il territorio e l'industria sono i punti cardine della ricerca, insieme con un forte carattere pluridisciplinare che, partendo dalla tecnologia dell'architettura, coinvolge l'ingegneria dei materiali, quella strutturale e la chimica, in una necessaria commistione di saperi e competenze.

I dati ottenuti vogliono contribuire all'accrescimento delle conoscenze relative ai biocompositi, dimostrando che è possibile da un lato riscoprire ed innovare materie prime locali e storicizzate, e dall'altro collocarsi all'interno di filiere produttive già esistenti, rivitalizzandole ed aumentandone il livello tecnologico e di sostenibilità.

Grazie alla nuova attenzione che viene posta nei confronti dell'impatto sull'ambiente dei materiali e del loro ciclo di vita,

Experimentation of composites materials reinforced with vegetable fibres for the construction sector

**Abstract.** This document describes a research project carried out in the Ph.D. course in Civil Engineering at Mediterranean University of Reggio Calabria. The project is part of a doctoral dissertation entitled "Experimentation of laminas in composites materials reinforced with vegetable fibres for the construction sector". The research is placed in a general context of studies on advanced materials in the architectural industry, and particularly on biocomposites. The project concerned the design and the characterization of laminas in NFRP, natural fibre reinforced polymers, and it aims to obtain an environmental, economic and social sustainable material. In particular, biobased raw materials and their production process have been subject of the study.

**Keywords:** Biocomposites; Vegetable fibres; Advanced materials; NFRP; Sustainable development.

## Designed materials

Designing of materials is part of different industrial sectors yet. The human being's developed capacity to control the internal processes within the material, allowed to obtain advanced materials, which are specifically designed for a specific use (Ashby, 2005). The high level of this control is linked with the sensitivity of industry and research, and both of people, to environmental questions. In this sense, solutions with lower environmental impact and high technological profile are developed. In this context, composites are emblematic, because they are considered «the first form of engineered matter» (Antonini, 2008). This kind of materials allow design of a specific mix ratio, realization of components with the most appropriate production process, concentration of reinforcements in critical points. They are characterized by high

performances, low weight, minimum structural, high maintainability (Russo, 2007). For all the above reasons, the research community participated to dissemination and development of these materials. In this sense, the author, has been part as Action Participant, of the Cost Action 1207, Next Generation Design Guidelines for Composites in Construction, recently closed and which allowed to create thematic networking, great source of experience and knowledge exchange. Natural fibre reinforced polymers, or NFRP, are a recent development of composites, that are obtained using a biobased polymer matrix and/or biodegradable and natural fibres. The research aims to identify one or different mixings to realize a biocomposite to use in the architectural industry. The main thrusts of the research are: the study of different kinds of raw

il trend degli ultimi anni ha visto una riscoperta di queste fibre antiche, studiate e lavorate in modo da innovarne sia la produzione che l'utilizzo.

Se la canapa è stata tra le prime a suscitare un interesse di questo tipo, il lino si è imposto, negli ultimi anni, come fibra maggiormente performante in ambito meccanico (Reux e Verpoest, 2012). A questo fattore, sicuramente fondamentale per applicazioni tecnologicamente avanzate, si associa un'ampia coltivabilità dell'essenza, e le conseguenti implicazioni positive per i territori, che ci riportano ai concetti di responsabilità sociale e dovere dell'architettura professati da Rogers (Fairs, 2013).

#### **L'ambito della ricerca: compositi e biocompositi nell'industria**

La comparsa di materiali compositi ad alte prestazioni si osserva già dalla metà del secolo scorso in diversi velivoli aerospaziali ed aeronautici. Attualmente le applicazioni più frequenti in questi settori riguardano i polimeri rinforzati con fibra di carbonio (CFRP) per le parti strutturali, e quelli con fibre di vetro (GFRP) o aramidiche per i componenti soggetti a minor sforzo (Niu, 2006). Si pensi, a riguardo, che più del 50% dei materiali utilizzati per la realizzazione dell'ultimo arrivato in casa Boeing, il 787, è costituito da compositi avanzati (Slayton e Spinardi, 2016). Diverse sono inoltre le ricerche che mirano alla sostituzione o integrazione delle fibre sintetiche dei componenti secondari, quali ad esempio pannelli di interior, con fibre vegetali, per ridurre peso ed impatto ambientale (si vedano in proposito IMM del Distretto Aerospaziale Italiano<sup>1</sup> ed il progetto ECO/10/277239 Cayley<sup>2</sup>).

Anche il settore automotive ha sempre più sostituito l'utilizzo di materiali metallici con compositi, ponendo particolare accento,

nella ricerca, sull'utilizzo di resine termoplastiche e fibre vegetali (come nel caso delle ricerche Forbioplast<sup>3</sup>, e Materiali Avanzati per TRASporti ECOsostenibili<sup>4</sup>, entrambe con la partecipazione del Centro Ricerche Fiat), visti gli obblighi cui questa industria è costretta a sottostare a livello di diminuzione dell'impatto ambientale, aumento della manutenibilità, possibilità di riciclo dei materiali e riuso dei componenti (Direttiva Europea 2000/53/EC). Inoltre, il progetto qui presentato pone le basi sugli studi portati avanti all'interno dell'Università della Calabria nell'ambito del progetto MATRECO, i cui risultati hanno condotto alla progettazione e allo sviluppo di processi per la realizzazione di materiali avanzati bioderivati per il settore automotive, ed in particolare ad un processo automatizzato di filatura della ginestra.

Per quanto riguarda invece l'industria delle costruzioni, come è noto, l'innovazione tarda spesso nel farsi spazio, ed anche in questo caso il settore si affaccia con atteggiamento timido a questi nuovi materiali (Sinopoli e Tatano, 2007). I materiali avanzati in generale, ed i compositi in particolare, sono poco incontrati nell'architettura diffusa, e vengono spesso relegati a fenomeni sperimentali sporadici. Le applicazioni maggiori si hanno in componenti secondari, come appretti e reti per intonaci, o nel caso di rinforzi strutturali di edifici esistenti, realizzati con le cosiddette fasce di rinforzo con fibre di carbonio, aramidiche e, più raramente, di vetro. La diffusione dei materiali compositi a livello strutturale resta quindi molto parziale (Chilton et al., 2005), in modo particolare se si considerano le strutture 100% composito, anche se il documento *Prospect for new guidance in design in FRP, support to the implementation, harmonization and further development of the Eurocodes* (Ascione et al., 2016), fa ben sperare rispetto ad un aumento di questi materiali nei cantieri europei.

materials, identification of more effective production systems and the strong link with the territory. Other essential aspect is the multidisciplinary nature which involves technology of architecture, materials and structural engineering, chemical, to create a necessary fusion of knowledges and skills. Objective is to contribute to increase awareness about biocomposites and to demonstrate the possibility to rediscover and to innovate local and historical raw materials. Other important prerogative is to stay within existing local production chains, contributing to revitalise them and to increase their technological level and environmental sustainability.

A rediscovery of ancient fibres is due to the recent sensibility to environmental impact of materials and of their life-cycle. These fibres have been studied and analysed to innovate their produc-

tion and use.

In chronological order, hemp is one of the first fibres which have been studied. But in last years, flax is the most diffused, because it is more mechanical performing (Reux et Verpoest, 2012), important to use it in advanced technological applications. Moreover, flax is easy to growth and its cultivation could have positive economic implications for territories, which are close to the Rogers' concept of responsibility to society of architects (Fairs, 2013).

#### **The field of the research: composites and biocomposites in industry**

High performing composites appeared in the half of the last century in aeronautics and aerospace. Actually, composites more diffused in these sectors are CFRP, carbon fibres reinforced polymers, for structural applications, and

GFRP, glass fibres reinforced polymers or aramid ones for no structural parts (Niu, 1992). In this sense, a model case is the last product of Boeing, the 787, which is composed by more than 50% of advanced composites (Slayton et Spinardi, 2016). Moreover, there are different researches that aim to replace or to integrate synthetic fibres with lower environmental impact ones (for example IMM, by Italian Aerospace District<sup>1</sup> and Cayley ECO/10/277239<sup>2</sup>). The automotive has a pioneering role in replacing metallic components with composite ones, in particular using thermoplastics and vegetable fibres (examples are Forbioplast<sup>3</sup> and Materiali Avanzati per TRASporti ECOsostenibili<sup>4</sup> – *Advanced materials for sustainable transports, n.d.t.* – , both of two featuring Fiat Research Centre). Certainly, this role is related to obligations for this sector to reduce envi-

ronmental impacts, to increase maintainability and possibilities to recycle and reuse materials and components (European directive 200/53/EC). The presented project is grounded from MATRECO studies of University of Calabria, where a production process for advanced biobased materials for automotive has been designed and developed. In this case, main used fibres are the broom (*Spartium junceum*) ones.

Generally, in construction industry, innovation is slower. In fact, the sector may occasionally be glimpsed on the horizon of these new materials (Sinopoli and Tatano, 2007). Advanced materials in general, composites in particular, are not very common in diffused architecture, often they are relegated to occasional experimentations. In the sector, secondary components are more popular applications, like fin-

## Metodologia e sperimentazione

All'interno di questo sistema complesso, l'esperienza qui riportata ha visto lo studio analitico e quello sperimentale intrecciarsi nella valutazione della possibilità di applicazione di materiali avanzati di tipo biocomposito nel settore delle costruzioni.

Si è quindi partiti da una fase preliminare relativa allo stato dell'arte, che ha guardato alle ricerche realizzate in ambito costruttivo, come Biobuild (Fig. 1)<sup>5</sup>, ed a studi condotti in altri settori, come quelli già citati precedentemente nel testo, riconoscendo non solo alto valore alle possibilità di casi di trasferimento tecnologico verso l'industria delle costruzioni, ma anche l'importanza di un approccio pluridisciplinare.

Si è dunque passati alla fase sperimentale strettamente detta, che ha riguardato la progettazione e la realizzazione del materiale, insieme alle fasi di *testing*. Vi è quindi una suddivisione in tre momenti, interconnessi tra loro, riguardanti rispettivamente l'approfondimento sui processi di produzione, lo studio delle fibre e la realizzazione della lamina finale.

Ci si è soffermandoti quindi in prima battuta sugli aspetti legati al processo di produzione, perché, come sostiene Mendes da Rocha «si può immaginare solo quello che si sa come costruire» (Wainwright, 2017). Basandosi su dati da letteratura, si è proceduto ad una serie di verifiche di laboratorio per comprendere la processabilità di diverse forme di fibre. Sono stati quindi ottenuti provini con fibra micronizzata, corta, lunga e tessuto, all'interno di matrici termoindurenti. In seguito alle relative verifiche meccaniche, e legando questi dati con le tecnologie presenti sul territorio, si è scelto che la lamina oggetto della sperimentazione sarebbe stata ottenuta tramite processo di infusione di resina

ishes and plaster mesh. Also reinforcing strips in carbon, aramid or glass fibres are diffused in rehabilitation of buildings. So, diffusion of composites in structural components are partial (Chilton et al., 2005), in particular if 100% composite structures are considered. In that regard, the document *Prospect for new guidance in design in FRP, support to the implementation, harmonization and further development of the Eurocodes* (Ascione et al., 2016), is a glimmer of hope that using of composites in buildings will increase.

### Methodology and experimentation

In this complex system, the reported experience regarded analytical and experimental studies aim to evaluate the possibility to apply advanced biobased composite materials in architectural industry.

The breakdown of state-of-the-art represent a preliminary approach of the research. Projects about composites in architectural industry have been explored, like Biobuild (Fig. 1)<sup>5</sup> and also research from other sectors have been studied, recognizing high importance to technological transfer processes and to a multidisciplinary approach.

The experimentation in the strict sense regarded designing, realization of material and testing. It could be divided in three interconnected parts, regarding a focus on production processes, the study of fibres and the realization of the final lamina.

In particular, the first step analyzed production processes, because «you can only imagine what you know how to build» like Mendes da Rocha said (Wainwright, 2017). Based on literature data, different laboratory tests of processability have been carried out



su tessuto secco, contando anche sulla collaborazione della ditta Borrone Srl di Cetraro (CS), operante nel settore nautico e già partner del progetto MATRECO sopracitato.

Sono stati quindi analizzati tessuti artigianali e tessuti industriali tecnologicamente avanzati di lino e canapa, documentandone le differenze morfologiche e meccaniche. Nello specifico, i prodotti sono stati osservati al microscopio a scansione elettronica (SEM) del Laboratorio Materiali e Componenti, LabMat&Com, del Building Future Lab, del Dipartimento di Architettura e Territorio dell'Università Mediterranea di Reggio Calabria, ottenendone immagini a diversi ingrandimenti. Sono poi stati eseguiti dei test a trazione. Questi dati hanno aiutato a comprendere da un lato le diversità tra i tessuti artigianali e quelli industriali, e dall'altro le differenze tra la fibra di canapa e quella di lino, orientando la scelta verso l'utilizzo di un tessuto industriale tecnologicamente avanzato di lino (Biotex 400 g/mq).

on different forms of fibres. Specimens with thermosetting matrix and micronized, short, long, and in fabrics fibres are realized. Mechanical tests have been performed. Results of mechanical test have been crossed with local technological production process, and lamination of dry fabrics and liquid infusion is preferred to other systems. A local naval business, the Borrone Srl based in Cetraro (CS), contributed to the realization of the lamina.

The first step regards the study of handicraft and industrial technological advanced fabrics made by flax and hemp. This study includes the morphological and mechanical characterization. Products have been observed with the scanning electron microscope, SEM, of Materials and Components Laboratory, LabMat&Com, of Building Future Lab, Architecture and Territory Department, Mediterranean University of

Reggio Calabria. This observation produced different images at various magnifications. Also, tensile tests have been carried out. This kind of analyze contributed to understand morphological and performance differences between handicraft and industrial fabrics, and also to the selection between different vegetable fibres. The selected fabric for this research is an advanced industrial flax fabric (Biotex 400 g/mq).

At the same time, different kind of matrices have been analyzed. In particular, biobased epoxy resins have been studied, and the CLR\INF SuperSap of Entropy Resin has been chosen. This resin has good mechanical properties, even if it has a lower glass transition temperature with respect to a traditional epoxy resin (for example Prism EP 2400 di Cytec). However, its Tg has been considered acceptable for the detected production process.

In parallelo, lo studio delle matrici si è orientato verso delle resine di tipo epossidico ad alto contenuto bioderivato, nello specifico CLR\INF SuperSap di Entropy Resin, che a confronto con una epossidica tradizionale (ad esempio Prism EP 2400 di Cytec), conserva buone proprietà meccaniche, anche se è caratterizzata da una temperatura di transizione vetrosa più bassa, comunque ritenuta accettabile per il processo tecnologico individuato.

In seguito, si è quindi giunti all'infusione della resina sul tessuto, utilizzando il sacco a vuoto ed effettuando il processo di cura a temperatura ambiente.

La lamina è stata dunque sottoposta, oltre che ad una prima analisi visiva, all'osservazione tramite SEM, con supporto porta campioni con controllo della temperatura, e a prove di trazione.

## Risultati

Il risultato finale della ricerca è ottenuto quindi dall'unione dei dati acquisiti nelle tre fasi di sperimentazione: analisi della processabilità, delle fibre e della lamina.

I primi risultati, relativi alle diverse forme di fibra ed alla loro processabilità, hanno confermato che, considerando il ridotto livello di industrializzazione del territorio di riferimento e le caratteristiche proprie dei materiali compositi, l'infusione di tessuti secchi fosse la scelta maggiormente conveniente, sia in termini di processo che di performance del prodotto finale.

In secondo luogo, le analisi fisiche e meccaniche dei tessuti, hanno rivelato quale di questi fosse il più adatto alle applicazioni progettuali. I tessuti tecnologici hanno mostrato un elevato controllo delle fibre, sia in termini di pulizia che di omogeneità delle sezioni, aspetti pressoché assenti in quelli di derivazione artigianale (Figg. 2-5). Il confronto delle proprietà elastiche carat-

teristiche dei tessuti artigianali ed industriali ha poi evidenziato incrementi sostanziali nella resistenza a trazione e nel modulo di Young, sia per la canapa (Codispoti et al., 2015) che per il lino, come mostrato in Tab.1.

Queste nette differenze tra i tessuti tecnologici e quelli tradizionali, trovano fondamento nell'origine delle prime da piante coltivate in filiere specifiche (Baley, 2002) e nella maggiormente controllata direzionalità delle fibre che compongono loro.

Inoltre, sono progettati per essere uniti a resine normalmente idrofobiche, e sono quindi specificatamente funzionalizzati, in modo da abbatterne il livello di assorbimento dell'umidità ed aumentare la coesione tra fibra a matrice (Yan et al., 2014).

Infine, per quanto riguarda i risultati relativi la lamina, l'osservazione tramite SEM non ha evidenziato porosità rilevanti, e le prove di trazione, per la determinazione della resistenza e del modulo di elasticità di Young, hanno conseguito risultati positivi, superando di gran lunga i dati analitici iniziali, ottenuti sia tramite l'applicazione dei modelli contenuti nella CNR\_DT200\_R1\_2013, sia con l'ausilio del programma Autodesk Simulation Composite Design 2014, e dimostrando ancora una volta la necessità dello sviluppo di specifici modelli di calcolo per i compositi con fibra vegetale (Faruk e Sain, 2015).

## Conclusioni e sviluppi futuri

Diventati ormai una realtà in settori come l'*automotive*, i materiali compositi ottenuti in tutto o in parte da materie prime bioderivate stanno suscitando interesse in molte industrie. L'applicazione di sistemi tecnologici avanzati ha permesso di ottenere materiali nuovi, prendendo spesso come base le conoscenze storicizzate circa le caratteristi-

The third part of the experimentation concerned the resin infusion on fabrics, using vacuum bag and a room temperature cure process. The obtained lamina has been visually analyzed, observed with the SEM (at controlled temperature), tested for tensile characteristics.

## Results

The final result of the research project has been obtained from a blend of three different phases: processability analyzes, fibres studies and lamina tests.

First of all, liquid infusion has been confirmed like a good production process to obtain a performant final lamina. This process considered the local low level of industrialization and the own characteristics of composites. Secondly, physical and mechanical tests on fibres contributed to the selec-

tion of fabric which is more suitable for applications. Technological fabrics are characterized from a high level of control, both for cleaning and homogeneity of fibre sections (Figg. 2-5). A comparison between elastic properties demonstrated substantial increases in industrial fabrics for tensile strength and Young's Modulus, both in hemp (Codispoti et al., 2015) and in flax, as shown in Table 1.

These noticeable differences find their basis in origins of plants (Baley, 2002) and in a more controlled orientation of fibres in fabrics.

Moreover, industrial fabrics have been designed to realize composites with polymers which are normally hydrophobic, so they are specifically functionalized. In particular, these processes are used to reduce moisture and to increase cohesion between fibres and matrices (Yan et al., 2014).

Finally, SEM observation of the lamina didn't show important porosities and the tensile test obtained positive results in terms of tensile strength and Young's Modulus. In particular, in a comparison with analytical data (obtained by application of model by CNR\_DT200\_R1\_2013 and also with Autodesk Simulation Composite Design 2014), properties of real lamina are higher. This kind of observation is fundamental to understand the necessity to create a specific model to design composite materials reinforced with vegetable fibres (Faruk and Sain, 2015).

## Conclusions and future developments

Totally biobased and hybrids are important materials in automotive yet, and they are now attracting interest from other industries. The use of advanced technological systems created

new materials, which find their basis in historicized knowledge and knowhow in fibres like flax, hemp and broom. Important aspect of this rediscover is innovation of applications due to increase of properties obtained with controlled production processes. The research community is currently studying different phases of realization of these materials, from the design (where models for traditional composites are not reliable), to the cultivation of fibre plants (with the social and economic implications on territories), including more suitable production processes and matrices.

In general, biocomposites could be applied in different applications in construction. They could be used in rehabilitation of ancient buildings and monuments, respecting original materials. Also, a replace of traditional plastic materials is possible, as in pipes.



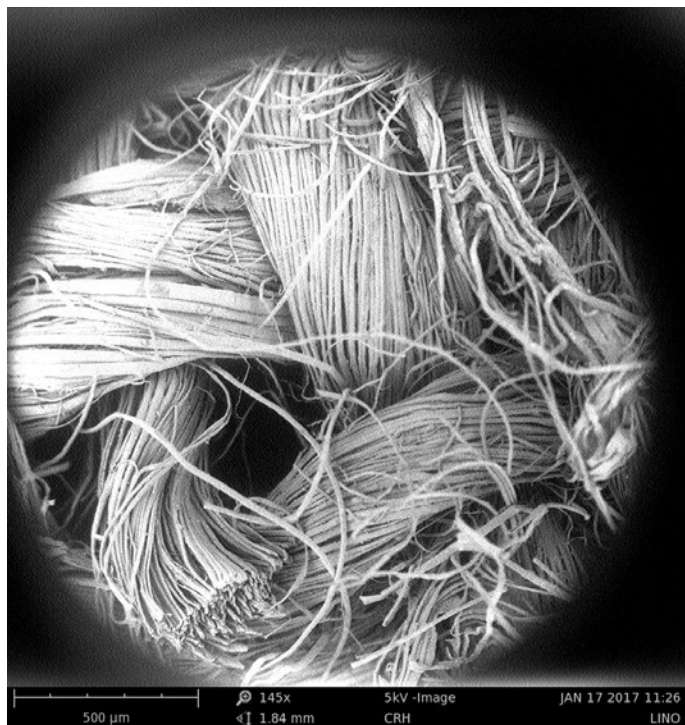
02 | immagine al SEM, fibre artigianali di lino, 145x, unit scale=500  $\mu$ m  
SEM image of handicraft flax fibres, 145x, unit scale=500  $\mu$ m

03 | immagine al SEM, fibre artigianali di lino, 830 x, unit scale=100  $\mu$ m  
SEM image of handicraft flax fibres, 830 x, unit scale=100  $\mu$ m

04 | immagine al SEM, fibre industriali di lino, 135 x, unit scale=500  $\mu$ m  
SEM image of industrial flax fibres, 135 x, unit scale=500  $\mu$ m

05 | immagine al SEM, fibre industriali di lino, 1600x, unit scale=50  $\mu$ m  
SEM image of industrial flax fibres, 1600x, unit scale=50  $\mu$ m

02 |



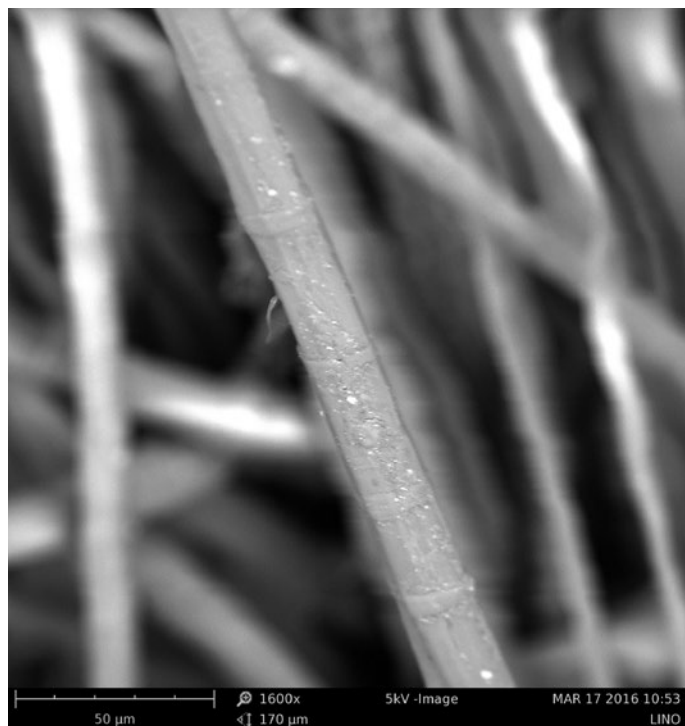
| 03



04 |



| 05



che di molte fibre, come la canapa, il lino o la ginestra, ed innovandone gli usi, grazie anche all'incremento delle prestazioni derivato dai maggiormente controllati sistemi di produzione. Il mondo della ricerca è attualmente impegnato nello studio delle diverse fasi della realizzazione di questi materiali, dalla progettazione, cui i modelli di calcolo dei compositi tradizionali non risultano affidabili, alla coltivazione delle fibre, con le implicazioni socio-economiche sui territori, ai sistemi di produzione ed alle resine, cercando di individuarne i più adatti.

In senso generale, l'utilizzo di materiali biocompositi nelle costruzioni è valutabile in diverse tipologie di intervento. Da un lato vi sono infatti le applicazioni legate al recupero di edifici e monumenti storici, nel rispetto dei materiali originari, vi sono poi quelle che mirano alla sostituzione dei materiali plastici già utilizzati, come ad esempio tubazioni di vario genere, ma anche la collocazione in ambiti dell'architettura tecnologicamente innovativi, come le costruzioni a secco, dove potrebbero essere utilizzati come pannelli, o ancora come elemento portante di micro-architetture.

Se gli obiettivi a breve periodo che ci si era prefissati nell'ambito del progetto qui presentato sono stati raggiunti, riferendosi principalmente alla verifica della realizzabilità di un materiale composito a minore impatto ambientale, con buone caratteristiche elastiche e un forte legame con il territorio, dall'altro vi sono sviluppi futuri molto variegati cui volgere lo sguardo e su cui si sta attualmente indagando.

Sotto il profilo della progettazione dei materiali, interessanti si mostrano le possibilità di ottenere compositi sempre più performanti, sia dal punto di vista meccanico che fisico, ma anche a minore impatto ambientale. Il concetto di impatto ambientale è

da intendersi nel senso più ampio possibile, assimilando l'accezione che prevede l'analisi di questo dalla culla alla tomba di materiali e componenti. In modo particolare le ricerche future non potranno esimersi dallo studio dei polimeri bioderivati, non solo epossidici, ma anche di natura diversa. Un esempio in questo senso può essere rappresentato dall'alcool furfurilico, ottenuto dagli scarti della filiera agricola e con buone caratteristiche alla fiamma, tali da potersi mettere in competizione con il fenolico, molto più tossico ed impattante (Ahmad et al., 2013). Anche l'acido polilattico, o PLA, ricavato dal mais, e che permette di produrre materiale plastico che può essere compostato a fine vita, è un materiale molto interessante, e che si lega fortemente alle nuove frontiere aperte dall'additive manufacturing.

Dal punto di vista socio-economico, un primo filone potrebbe interessare, come già accennato, la creazione o la rivitalizzazione di un indotto su territori depressi, come nel caso della Calabria, e la comprensione dei fenomeni sociali ed economici derivanti. L'installazione di una filiera produttiva in un territorio di questo tipo, infatti, porterebbe diversi vantaggi: crescita della richiesta di forza lavoro, ripresa dei terreni agricoli abbandonati e marginali, investimenti pubblici e privati, con anche formazione di professionalità legate ad un tipo di industria più sostenibile e rispettosa del territorio. Un secondo filone potrebbe indagare la possibilità della realizzazione di un modello di sviluppo ripetibile in diverse aree geografiche, in ognuna delle quali contestualizzare la produzione con essenze legate al territorio, investendo quindi su di esso senza mettere a rischio le biodiversità locali. Il ritorno allo studio delle fibre vegetali, testimonia infatti la volontà di sostituire le fibre sintetiche con altre più sostenibili, e per rendere realmente sostenibile la fibra vegetale è importante che

Moreover, they could be applied in architectural technological innovative fields, like dry construction. In this case, an application as panels or structure for microarchitecture could be congenial.

Short term objectives of this research project are achieved, particularly about the verification of feasibility of a lower environmental impact composite materials, which has good elastic properties and with a strong level of connection with the territory. But there are different future developments to look towards.

About material design, there are interesting possibilities to obtain biocomposites more performant in mechanical and physical terms, and which are characterized from a low environmental impact. The concept of environmental impact is intended in the broader sense, incorporating

the cradle-to-grave analysis for components and materials. In particular, future research projects should focus on biobased polymers, not only epoxy ones. Moreover, another example should be the furfuryl-alcohol, obtained by agricultural waste. It is characterized by good flame properties, comparable with more toxic and higher impact phenolics. In addition, polylactic acid, or PLA, is a material obtained from corn. It can be composted, and it results very interesting because it's strictly connected with the innovative additive manufacturing.

Concerning social and economic aspects, there are different interesting themes. One of these could be the creation or the revitalization of spillovers in depressed territories, as in the Calabria region, and the comprehension of resulting social and economic phenomena. The realization of a pro-

ductive chain in this kind of territory could bring direct benefits, as training of professional figures specialized in an industry which is characterized by high levels of sustainability and respect for the territory. Another one could be represented by realization of replicable organized models of growth, which involved to contextualize the production, investing on territory and not venturing local biodiversity. The return towards the study of vegetable fibres is part of a larger will to replace the synthetic ones. It's important that this will is related with the geographical context. This kind of contextualization is a formalized system in automotive, for example different fibres are used in South America (sisal, coconut, ...) and in Europe (hemp, juta, ...) (La Rosa et al., 2013).

Architectural design could be another important interested sector. In fact, the

use of these materials could involve new shapes for different functions, with the possibility to obtain types that could not be realized with traditional materials.

By the way, some architecture with composites are notorious examples, like the Chanel pavilion, designed by Zaha Hadid, based in the square in front of the 'Institut du Monde Arabe' in Paris (Fig. 6).

Finally, in order to highlight the interest of industries in these materials, it is noted that the research project presented here was awarded the Leonardo 2017 Innovation award, ranking at the first place in the category Ph.D.<sup>6</sup>. As part of the Awards, a stage – ongoing – has been offered to the author. This activity is proceeding at Materials and Technological Process bureau, Aircraft division of Leonardo S.p.A., and it has like main objective to inves-





tigate applications of biocomposites in aeronautics.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

The author thanks Prof. G. Chidichimo and his team, including the Borrone S.r.l., for their support and availability throughout different experimental moments.

#### NOTES

<sup>0</sup> The paper, proposed by an under 35 researcher, has passed the acceptance phase of the abstract and consequently the "double blind review", obtained, on the part of the Techne Board, a positive evaluation for the publication with the No-Pay logic.

<sup>1</sup> IMM project of Italian Aerospace District has been coordinated by Geven, with different partners, like Alenia Aeromacchi, Seconda Università di Napoli e Università Federico II of Naples.

<sup>2</sup> ECO/10/277239 Cayley project has been co-financed by European Union in the CIP Eco-Innovation Initiative of the Competitiveness and Innovation Framework Programme, it has been coordinated by Invent, and its partners are BoeingR&Te, Lineo e Aimplas.

<sup>3</sup> Financed with FP7-KBBE funds, coordinated by Pisa University.

<sup>4</sup> Financed with PON funds, coordinated by Catania University.

<sup>5</sup> Biobuild, Biobuild, High Performance, Economical & Sustainable Biocomposite Building Materials, is a project financed by European Union in the Seventh Framework Programme for Research, Technological Development and Demonstration, coordinated by Net Composites Ltd and which including as partners Arup GmbH.

<sup>6</sup> Ph.D. is concluded in June 2017, and it involved Prof. A. Santini as tutor and Arch. F. Giglio and Arch. F. Pastura, of

Department of Architecture and Territory of Mediterranean University of Reggio Calabria, and Prof. C. Chidichimo, of Department of Chemical and Chemical technologies of University of Calabria.

#### TECHNICAL DATA SHEET CITED PROJECT

Chanel Travelling Pavilion, Parigi, Chanel, Zaha Hadid, 2007.

questa sia contestualizzata al territorio dove ne è previsto l'utilizzo. L'automotive ne fa già un sistema consolidato, utilizzando fibre diverse nei paesi del Sud America (sisal, cocco, ...), rispetto a quelle europee (canapa, juta, ...) (La Rosa et al., 2013). Per quanto riguarda la progettazione architettonica, inoltre, si avrà la possibilità di costruire con questi nuovi materiali, legandone le caratteristiche meccaniche tipiche alle forme realizzabili per le diverse funzioni, con l'occasione di ottenere oggetti difficilmente possibili con i materiali tradizionali. In proposito, con compositi con materie prime non rinnovabili, sono già noti alcuni esempi, tra tutti il padiglione Chanel di Zaha Hadid, posato nel piazzale antistante l'Istituto del Mondo Arabo di Parigi (Fig. 6). Infine, per sottolineare l'interesse dell'industria a questo tipo di materiali, si evidenzia che il progetto qui presentato è stato premiato nell'ambito del premio Innovazione Leonardo 2017, classificandosi al primo posto nella sezione dottorandi<sup>6</sup>. Nell'ambito della premiazione è stato offerto all'autrice uno stage – attualmente in corso – presso l'ufficio Materiali e Processi della divisione Aircraft di Leonardo S.p.A., con lo scopo di indagare sulle possibili applicazioni di materiali biocompositi in ambito aeronautico.

#### RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia il Prof. G. Chidichimo ed il suo gruppo di lavoro, inclusa la Borrone S.r.l., per il supporto fornito e la disponibilità durante le diverse fasi sperimentali.

#### NOTE

<sup>0</sup> L'articolo, il cui proponente è un ricercatore under 35, dopo aver superato la fase di accettazione dell'abstract e il successivo referaggio effettuato con modalità "double blind", ha ottenuto, da parte del Board di Techne, una valutazione meritevole per la pubblicazione con la logica No-Pay.

<sup>1</sup> Il progetto IMM del Distretto Aerospaziale Italiano è stato coordinato da Geven e vede tra i partner Alenia Aermacchi, Seconda Università di Napoli e Università Federico II di Napoli.

<sup>2</sup> Il progetto ECO/10/277239 Cayley è stato co-finanziato dall'Unione Europea all'interno del CIP Eco-Innovation Initiative of the Competitiveness and Innovation Framework Programme, ha avuto come coordinatore Invent e tra i partner vi sono BoeingR&Te, Lineo e Aimplas.

<sup>3</sup> Finanziata con fondi FP7-KBBE, coordinata dall'Università di Pisa.

<sup>4</sup> Finanziata con fondi PON, coordinato dall'Università di Catania.

<sup>5</sup> Biobuild, High Performance, Economical & Sustainable Biocomposite Building Materials, progetto finanziato dall'Unione Europea nell'ambito del Seventh Framework Programme for Research, Technological Development and Demonstration, coordinato da Net Composites Ltd e che ha visto tra i partner ArupGmbH.

<sup>6</sup> Il percorso di dottorato si è concluso nel giugno 2017 ed ha coinvolto come tutor il Prof. A. Santini e come co-tutor l'Arch. F. Giglio e l'Arch. F. Pastura, del Dipartimento di Architettura e Territorio dell'Università Mediterranea di Reggio Calabria ed il Prof. C. Chidichimo, del Dipartimento di Chimica e Tecnologia Chimica dell'Università della Calabria.

#### SCHEDA TECNICA PROGETTO CITATO

Chanel Travelling Pavilion, Parigi, Chanel, Zaha Hadid, 2007.

#### REFERENCES

- Antonini, E. (2008), "Materiali complessi", *Materia*, Vol. 58, pp. 44-55.
- Ascione, L., Caron, J.F., Godonou, P., Van IJselmuiden, K., Knippers, J., Mottram, T., Oppe, M., Gantriis Sorensen, M., Taby, J. and Tromp, L. (2016), *Prospect for new guidance in the design of FRP*, EUR 27666 EN.
- Ashby, M.F. (2005), *Materials Selection in Mechanical Design*, Elsevier, Butterworth-Heinemann, Oxford, UK.
- Baley, C. (2002), "Analysis of the flax fibres tensile behaviour and analysis of the tensile stiffness increase", *Composites Part A*, Vol. 33, pp. 939-948.
- Biobuild (2015), "Revolutionising the construction sector", available at: [http://cordis.europa.eu/result/rcn/91789\\_en.html](http://cordis.europa.eu/result/rcn/91789_en.html) (accessed 31 January 2018).
- Chilton, J. and Velasco, R. (2005), "Applications of textile composites in the construction industry", in Long, A.C. (Ed.), *Design and manufacture of textile composites*, Woodhead Publishing Ltd., Cambridge, pp. 424-35.
- CNR\_ dt 200/2013 (2013), *Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo di interventi di consolidamento statico mediante l'utilizzo di compositi fibrorinforzati*.
- Codispoti, R., Oliveira, D.V., Olivito, R.S., Lourenço, P.B. and Figueiro, R. (2015), "Mechanical performance of natural fiber-reinforced composites for the strengthening of masonry", *Composites Part B* Vol. 77, pp. 74-83.
- Commissione Europea (2000), *L'UE e la gestione dei rifiuti, Lussemburgo: Ufficio delle pubblicazioni ufficiali delle Comunità europee*.
- Fairs, M. (2013), "We have a responsibility to society" says Richard Rogers", available at: <https://www.dezeen.com/2013/07/16/we-have-a-responsibility-to-society-says-richard-rogers/> (accessed 29 March 2018).
- Faruk, O. and Sain, M. (2015), *Biofiber reinforcement in composite materials*, Woodhead Publishing, Cambridge, UK.
- Forlani, M.C. and Mastrodonato, L. (2014), "Edilizia sostenibile e risorse locali", *Techne*, Vol. 7, pp. 194-203.
- La Rosa, A.D., Cozzo, G., Latteri, A., Mancini, G., Recca, A.T. and Cicala, G. (2013), "A comparative life cycle assessment of a composite component for automotive", *Chem. Eng. Transactions*, Vol. 32, pp. 1723-1729.
- Ahmad, E. E. M., Luyt, A. S. and Djoković, V. (2013), "Thermal and dynamic mechanical properties of biobased poly(furfuryl alcohol)/sisal whiskers nanocomposites", *Polymer Bulletin*, Vol. 70, pp. 1265-1276.
- Niu, M.C.Y. (2006), *Composite airframe structures*, Adaso Adastr Engineering Center, Northridge, CA, USA.
- Reux, F. and Verpoest, I. (Eds.) (2012), "Flax and hemp fibres: a natural solution for the composite industry", *Proceedings of the Jec Composites 2012*, Paris, FR.
- Russo, S. (2007), *Strutture in composito: sperimentazione, teoria e applicazioni*, Hoepli, Milan.
- Slayton, R. and Spinardi, G. (2016), "Radical innovation in scaling up: Boeing's Dreamliner and the challenge of socio-technical transitions", *Technovation*, Vol. 47, pp. 47-58.
- Wainwright, O. (2017), "One never builds something finished: the brutal brilliance of architect Paulo Mendes da Rocha", available at: <https://www.theguardian.com/artanddesign/2017/feb/04/why-paulo-mendes-da-rocha-raises-architecture-to-a-new-level> (accessed 29 March 2018).